ФАНТАСТИКА
84

SHOUT
SHARE
IT

- Виктор Ягодинский

Виктор Ягодинский
Часы внутри нас

Отечественные ученые внесли большой вклад в хронобиологию. Академик А. Н. Бах и профессор Д. А. Сабинин стояли у колыбели исследований внутриклеточных ритмов. Академик И. П. Павлов открыл условные реакции на время и показал их роль в формировании биологического ритма.

Вот результаты последних опытов советского хронобиолога М. М. Атаева. Моллюск получает через каждые пять минут удары слабым электротоком. На некоторое время он скрывается в раковине, но затем продолжает движение. Прекратим воздействие тока. Однако ровно через пять минут улитка снова скрывается в своей раковине. Как от электроудара! Это не условный рефлекс. Нет! В простейшем организме, видимо, существует система отсчета времени, своеобразные часы, пригодные для ориентации и изменения поведения в зависимости от внешних раздражителей.

Или другой, более сложный опыт. Воздействуем тем же электрополем на мозг кошки. На энцефалограмме обнаружится своеобразная картина. Животное поспешит уйти из сферы действия электротока, для чего ему нужно нажать на педаль, открывавшую дверцу. Ровно тридцать секунд — ни секундой менее или более, иначе дверь не откроется. Животное быстро ориентируется в задании и выбирает необходимый интервал времени. Дверь открывается!

Это показывает, что ритмы самого различного масштаба и разной сложности могут формироваться повседневно под влиянием внешних раздражителей.

Действительно, свойство ритма у животных может быть приобретено в результате обучения, которое начинается с момента рождения: новорожденный как бы «запечатлевает» те или иные временные последовательности и далее оперирует ими всю жизнь. Это подобно тому, как только что вылупившиеся в инкубаторе утята или гусята начинают считать своей матерью кормившего их человека, не обращая внимания на присутствующих здесь же взрослых своих сородичей. Может быть, и некоторые биоритмы «запускаются» еще с первых суток жизни, когда ребенок постепенно закрепляет ритмы питания, сна, физической активности.

Но внутренние часы не смогли бы достигнуть большой точности и универсальности у разных особей только в результате

обучения. Предполагается, что внутренний биохронометр «вмонтирован» в клетки живого организма задолго до его рождения, он запрограммирован природой. По мнению советского физиолога Н. А. Аладжаловой, источник колебаний — регуляторные процессы как на макромолекулярном и клеточном уровнях, так и на уровне ансамблей клеток и далее — на уровне взаимодействия живых систем.

Согласно этой концепции в образовании биоритмов непосредственное участие принимают клеточные мембраны, периодически меняющие потоки ионов в клетку. Изменения ионного градиента переводят мембрану из пассивного состояния в активное. Периодические колебания концентрации ионов вызывают скачкообразные изменения состояния мембраны.

Мембранная гипотеза биологических часов, по данным мировой литературы, обобщенной советским биоритмологом С. А. Чепурновым, наиболее обоснована и тесно связана с генезом физиологических ритмов, с биохимическими процессами, обеспечивающими ионный транспорт.

Исследователь приводит очень интересные в этом отношении данные. У большинства низших позвоночных эпифиз остается связанным с мозгом в процессе эмбриогенеза и содержит клетки, сходные с фоторецепторами, то есть чувствительными к свету образованиями. Клетки эпифиза амфибий реагируют на изменение внешней освещенности. Но оказывается, что такая фоторецепция присуща и птицам. Например, если ослепить попугаев, то их циркадный ритм уже не будет совпадать с периодами освещенности и затемнения. Однако после выщипывания перьев на голове, то есть увеличения светового потока, поступающего через кожу головы и череп к тканям мозга, ритм сразу же восстанавливался. Введение туши под кожу головы птицам приводило к исчезновению синхронности циркадного ритма. Таким образом, доказано прямое действие света на эпифиз. Следовательно, эпифиз трансформирует световую ритмику и подчиняет ей весь организм благодаря своей эндокринной функции.

У млекопитающих в процессе эмбриогенеза эпифиз теряет анатомическую связь с мозгом (за исключением стебля), и его фоторецептирующие свойства исчезают. Сигналы об освещенности организма эпифиз высших позвоночных животных получает от сетчатки глаза. Эта железа выделяет физиологически активные вещества — мелатонин, серотонин, норадреналин; их накопление в эпифизе и выделение зависят от освещенности.

Именно днем или при освещении происходит освобождение серотонина из депо. На суточные колебания серотонина в

эпифизе оказывают влияние также стрессовые воздействия, но наибольшая роль в регуляции его уровня все же принадлежит световому периодизму.

Таким образом, центральные звенья временной структуры позвоночных нервная и эндрокринная системы. Они основа биологических часов организма в целом. Благодаря нейроэндокринным воздействиям осуществляется модификация и интеграция клеточных ритмов и тем самым обеспечивается их взаимодействие, целостное функционирование организма, его адаптация к изменяющимся условиям внешней среды. Суточный ритм является основной временной единицей работы живого организма. Ритмикой определенных гормональных изменений можно объяснить также околомесячные — лунные и сезонные циклы.

При этом временные и пространственные стороны жизни настолько взаимосвязаны, что разделить их в биоритмологии не удается, и мы только условно говорим о временной динамике, подразумевая, что развитие процесса одновременно совершается и в пространстве. Как периодические волны моря оставляют на зыбком песке свой четкий след, так и на раковинах моллюска навсегда запечатляются резкие полосы — следствие его жизненных циклов.

Годичные кольца встречаются на деревьях, рогах животных, скелетах карбонатных водорослей и даже на чешуе рыб. А на некоторых ископаемых объектах обнаруживаются не только годовые, но даже и суточные циклы. Так, на морщинистом известковом покрове — эпитеке кораллов можно найти и просчитать своеобразные гребни или «струйки», число которых точно соответствует числу дней в году. Это позволило с величайшей точностью установить, что в кембрийском периоде год содержал не 365, как сейчас, а более 400 дней, в девонском он был равен 396, в каменноугольном и пермском 393 — 385, в юрском — 377 дней. Рассчитано, что длительность суток в девонскую эпоху была около 21 часа, а затем из-за замедления движения Земли (в основном лунным влиянием) достигла сегодняшней продолжительности в 24 часа.

Как видим, за природными сдвигами зорко следят живые организмы, сообразуя с ними свою ритмику — как многолетнюю, так и суточную. Очевидно, это и привело в процессе эволюции к выработке соответствующей цикличности биологических процессов.

Но каковы же глубинные механизмы образования ритмов биосферы? Оказалось, что у животных, растений и одноклеточных организмов существует весьма совершенный способ измерения

времени, основанный на циклическом течении жизненных процессов. Причем в основе измерения времени лежат не одиночные импульсные «подсказки» со стороны внешних факторов (хотя и это влияет на ход биологических часов), а цепные процессы. Центральным звеном в этих процессах является упорядоченность химических реакций. Предполагается, что солнечный свет — смена дня и ночи — способствовал эволюции биоритмов за счет фотосинтетических, фотохимических процессов. Такую же роль могли играть и морские приливы-отливы. Вероятно, возникновение жизни было бы невозможно без формирования в простейших биологических системах колебательных химических и других процессов с их упорядоченностью времени. Биоритмы разной периодичности способствуют регуляции функций организма. Их наличие создает возможности приспособления к множеству циклических изменений во внешней среде, то есть позволяет организму легче адаптироваться к среде. Химический механизм может быть наиболее вероятной основой организации чувства времени, то есть речь идет не о физическом, как мы привыкли считать, глядя на маятник часов, а о химическом метрономе.

Какие же конкретные химические процессы обеспечивают ход наших внутренних часов?

За тысячелетия цивилизации человечество изобрело множество счетчиков времени. Сегодня в службе времени предпочтение отдается атомным часам, которые отстают не более чем на одну секунду за три тысячи лет. Это время продиктовано молекулами и атомами. То есть ритм движения времени в природе связан с самой основой существования материи — атомом. А нет ли чего подобного и в основе биологических часов?

Оказывается, еще в IX веке существовали хронометры, которые состояли из двух спирально перевитых кусков каната, пропитанных пчелиным воском и свечным салом. Эти куски горели с постоянной скоростью, так что на сжигание определенной их части уходило практически одно и то же время. Соответствующая разметка позволяла довольно точно различить отрезки времени в 20 минут.

Чарлз Эре из Аргонской лаборатории при Комиссии по атомной энергии США сопоставил в 1967 году эти часы с моделью ДНК, имеющей подобную же двойную спираль. Как известно, структура нуклеиновых кислот — носителей наследственных признаков — была открыта Д. Уотсоном и Ф. Криком в 1952 1953 годах, за что они совместно с М. Уилкинсом были удостоены Нобелевской премии по медицине в 1962 году.

Давайте вспомним кратко строение нуклеиновых кислот.

ДНК представляет собой две закрученные в виде спирали нити, построенные из множества нуклеотидов. Прообразом ДНК может служить винтовая лестница, где «перилами» будут элементы ортофосфорной кислоты и углеводов, а соединения из органических оснований служат «ступеньками». РНК построена более просто — в виде одинарно закрученной полинуклеотидной спирали, которая, однако, способна «вкрапливать» небольшие участки двойной спирали — как бы отдельные пролеты лестницы.

Отличительной особенностью ДНК является способность к самовоспроизведению и сохранению генетической информации. Процесс репродукции сводится к разрушению водородных связей между основаниями двух закрученных нитей, в результате чего освобождается энергия для присоединения других подобных оснований. В этом процессе немаловажную роль играет физико-химическое состояние среды, равновесие ионной структуры клетки. Атомная решетка нуклеиновых кислот способна выбирать и ориентировать в пространстве находящиеся вокруг нее «заготовки». В результате при разделе нитей ДНК на две части каждая из них формирует новый цельный экземпляр, абсолютно идентичный исходной ДНК.

Но не будем вникать дальше в этот интимный акт зачатия новых ДНК. Отметим лишь свойства, с помощью которых потомство получает необходимую наследственную информацию.

Вот эта статья написана с использованием тридцати двух букв русского алфавита и нескольких знаков препинания. Но тот же смысл можно изложить и азбукой Морзе, построенной всего из сочетаний двух знаков — точки и тире. Внешне текст будет выглядеть несколько однообразнее, но сохранит все оттенки авторской мысли и даже недостатки его стиля. Зато какая экономия шрифта! А если еще слова заменить символами, подобно тому, как мы сокращаем длинное слово «дезоксирибонуклеиновая кислота» на краткое «ДНК», то тогда вся эта книга уместилась бы на нескольких страницах. И наконец, очень трудно даже самыми подробными и точными выражениями описать внешний вид ДНК, а вот если приложить схему или маленькую фотокопию, то можно мгновенно представить ее характерные черты. И все это только с помощью одного символа-образа.

Вся информация о миллиардах частиц будущего вируса или клеток человека записана сочетанием всего лишь четырех знаков, вернее, на основе чередования двух пар нуклеотидов: аденин — тимин (А-Т) и цитозин — гуанин (ЦТ). ДНК — это язык живой материи, а сочетания А/Т — Ц/Г — две буквы азбуки.

По шаблону ДНК строится пространственное распределение и

подбор определенных аминокислот. Связь между ДНК и белками можно представить переводом книги на другой язык — с кода пуриновых и пиримидиновых оснований на субстрат аминокислот.

Теперь проследим ход рассуждений Ч. Эре. Спираль ДНК — большая молекула, имеющая, например, в ядре клетки человека до метра в длину, но она столь микроскопически тонка и так плотно упакована в хромосоме, что занимает совсем немного места даже в миниатюрной клетке. Если же вообразить ДНК той самой спиралевидной свечой IX века, а ее нити равными по диаметру корабельным канатам, то длина такой свечи-ДНК составила бы около восьми километров. Но есть одно важное преимущество ДНК перед свечой-часами. Если свеча сгорает и требует замены, то живая свечка ДНК продолжает копировать самое себя в течение всей жизни клеток.

Давайте подумаем, а не выполняет ли ДНК функцию счетчика времени на самом глубинном уровне иерархии живых систем? Может быть, клетки «используют» каким-то образом периодическое строение ДНК для отсчета времени? Если да, то каким образом?

В самом деле, периодичность расположения аминокислот в молекуле ДНК вполне может выполнить роль «разметки» или «стрелок» биологических, вернее молекулярных часов.

Но эта догадка породила столько вопросов, что на первых порах их было даже трудно пересчитать. Ну хотя бы такой вопрос: какую роль в отсчете времени может играть информационная РНК, синтезируемая в ядре и переходящая в цитоплазму, где она связывается с РНК рибосом и работает как матрица для синтеза белков, ферментов и т. п. И следующий, вытекающий отсюда вопрос: существует ли связь между синтезом белков из аминокислот и течением времени? Может быть, любой биохимический и даже биофизический процесс в организме, имея свои единицы развития, служит для отсчета времени? Разве не может быть датчиком микровремени клеточная мембрана, пределы проницаемости которой строго лимитированы? Но вернемся к ДНК.

В истории биоритмологии, как и любой другой науки, огромное значение имеют объект и метод исследования. В данном случае также необходимо было найти подходящий биологический объект и метод, которые бы были оптимальны при решении возникших вопросов. В качестве объекта была выбрана парамеция — известная всем нам с первых уроков биологии простейшая туфелька. У нее существуют свои ритмы, в частности конъюгация происходит в дневное время с циркадным периодом.

Биочасы парамеции легко сдвигаются при воздействии света. Но главное, часы туфельки сильно меняют свой ход под действием ультрафиолета. Предполагалось, что ультрафиолет повреждает спираль ДНК, но клетка может исправить положение, если после подействовать обычным белым светом. Это соответствовало другим опытам, в частности, применению антибиотика актиномицина-Д, подавляющего синтез ДНК в клетке и останавливающего часы водорослей.

Результаты опытов с парамецией позволили Эре предложить концепцию так называемого «хронона» — модели биологического циркадного механизма для отсчета времени. Эта гипотеза сводится к следующему.

Основой процесса отсчета времени в клетках являются длинные молекулы ДНК. На разошедшихся нитях спирали строится информационная РНК, достигая полной длины одиночной нити ДНК. Одновременно протекают взаимосвязанные химические реакции, соотношение скоростей которых можно рассматривать как регулирующий механизм часов. В целом вся последовательность этих реакций и служит для отсчета времени. Эре рассматривает такую модель как «скелет, в котором опущены все подробности».

Известный американский ритмолог Клоудзли-Томпсон считает РНК-ДНК «хозяйками» биоритмов. Сейчас эта гипотеза получает все больше подтверждений. Поэтому вполне вероятно, что параметры ритмов организма могут задаваться определенной генетической программой. Однако она реализуется только через систему биохимических и биофизических реакций.